


PRODUCTION OF OPTICAL FIBER

Patent number: JP9096729
Publication date: 1997-04-08
Inventor: YOSHIDA KAZUAKI; MORIKAWA TAKAYUKI; YAGI TAKESHI
Applicant: FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE
Classification:
 - international: G02B6/10; G02B6/42
 - european:
Application number: JP19950234506 19950912
Priority number(s):

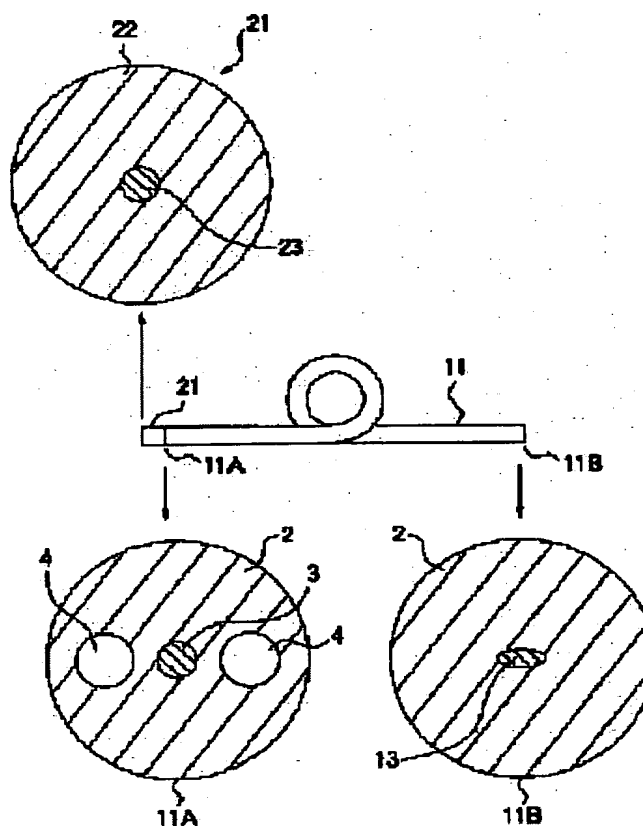
Also published as:

 DE19534106 (A1)

Abstract of JP9096729

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a process for producing an optical fiber having less transmission loss, the decreased difference in refractive indexes between a core and a clad and having the core which is elliptic at one end and round at the other end.

SOLUTION: The optical fiber which has the core 3 having a sectional area uniform in a longitudinal direction and the clad 2 formed with at least one through-holes 4 along the direction longitudinal to the core 3 is heated while the heating temp. is successively changed along in the longitudinal direction of the optical fiber, by which the shape of the through-holes 4 is continuously changed to continuously change the sectional shape of the core 3 along the longitudinal direction of the optical fiber and to vary the sectional shape of the core 3 at one end of the optical fiber and the sectional shape of the core 13 at the other end. For example, the sectional shape of the core 3 at one end is complete round and the sectional shape of the core 13 at the other end is elliptic.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-96729

(43) 公開日 平成9年(1997)4月8日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/10 6/42			G 0 2 B 6/10 6/42	C

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平7-234506

(22) 出願日 平成7年(1995)9月12日

(31) 優先権主張番号 特願平6-220106

(32) 優先日 平6(1994)9月14日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平7-190350

(32) 優先日 平7(1995)7月28日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 吉田 和昭

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 森川 孝行

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 八木 健

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

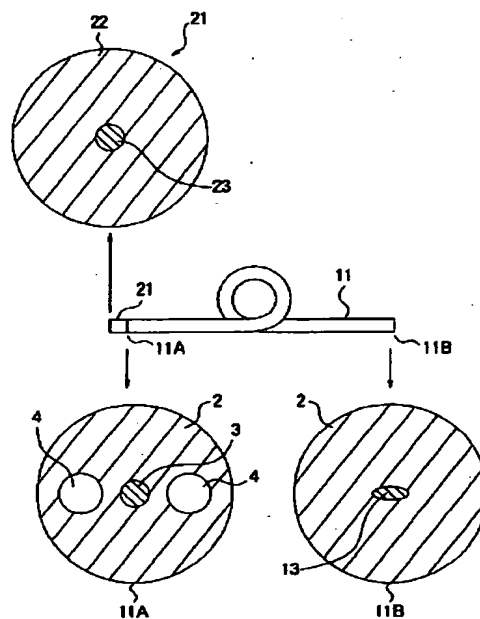
(74) 代理人 弁理士 佐藤 隆久

(54) 【発明の名称】 光ファイバの製造方法

(57) 【要約】

【目的】 伝送損失が少なく、コアとクラッドとの間の屈折率差の減少が少ない、一端が楕円で他端が真円のコアを有する光ファイバを製造する方法を提供する。

【構成】 長手方向に均一な断面積を有するコア3と、該コアに長手方向に沿って少なくとも1つ貫通孔4Aが形成されたクラッド2とを有する光ファイバ1を、前記光ファイバの長手方向に沿って順次加熱温度を変化させながら加熱して前記貫通孔の形状を連続的に変化させて前記コアの断面形状を前記光ファイバの長手方向に沿って連続的に変化させて、光ファイバの一端のコアの断面形状と他端のコアの断面形状を異ならせる。たとえば、一端のコアの断面形状は真円であり、他端のコアの断面形状と楕円である。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】長手方向に実質的に均一な断面形状を有するコアと、該コアの長手方向に沿って少なくとも1つの貫通孔が形成されたクラッドとを有する均一コア光ファイバの側面から加熱して前記貫通孔の断面形状を連続的に変化させ、

その結果として、前記コアの断面形状をその長手方向に沿って変化させ、光ファイバの一端のコアの断面形状と他端のコアの断面形状を異ならせる光ファイバの製造方法。

【請求項2】前記加熱段階において前記貫通孔を減圧する請求項1記載の光ファイバの製造方法。

【請求項3】前記貫通孔が前記コアの両側に2つ並設されて形成された均一コア光ファイバを用いて、前記コアの断面形状を長手方向に沿って変化させた光ファイバを製造する請求項1または2記載の光ファイバの製造方法。

【請求項4】コアの断面形状が円である均一コア光ファイバを、その側面を加熱して前記貫通孔を縮小させていき、

一端のコアの断面形状が円であり、他端のコアの断面形状が楕円であり、その中間部が円から楕円に連続的に変化しているように形成する請求項1～3いずれか記載の光ファイバの製造方法。

【請求項5】コアの断面形状が楕円である均一コア光ファイバを、その側面を加熱して前記貫通孔を縮小させていき、

一端のコアの断面形状が楕円であり、他端のコアの断面形状が円であり、その中間部が楕円から円に連続的に変化しているように形成する請求項1～3いずれか記載の光ファイバの製造方法。

【請求項6】前記均一コア光ファイバの一端の貫通孔を密閉する処理を行う、請求項4または5記載の光ファイバの製造方法。

【請求項7】前記均一コア光ファイバの他端の縮小した貫通孔を封止する第2の密閉処理を行う請求項4～6いずれか記載の光ファイバの製造方法。

【請求項8】最終的に製造すべき光ファイバと相似形状の断面を有し、前記光ファイバのコアとなる部分と、該コアとなる部分に沿って形成された少なくとも1つの貫通孔を有するクラッドとなる部分とを有する光ファイバ用母材を線引きして光ファイバを製造する方法であって、

前記貫通孔の外周と当該光ファイバ用母材の外周との最短距離を所定の大きさ以上になるように光ファイバ用母材を形成し、

該光ファイバ用母材の前記貫通孔にガス圧を加えつつ、所定の線引温度範囲の温度で線引きする光ファイバの製造方法。

【請求項9】前記最短距離は10%以上である請求項8

2

記載の光ファイバの製造方法。

【請求項10】前記線引温度は1800℃～2000℃の間に設定される請求項8または9記載の光ファイバの製造方法。

【請求項11】前記貫通孔に印加するガス圧は、コアの断面形状を円に向けるときは高くし、コアの断面形状を楕円に向けるときは低くする、請求項8～10いずれか記載の光ファイバの製造方法。

【請求項12】前記製造される光ファイバの一端のコアの断面形状を円にし、他端のコアの断面形状を楕円にし、一端の円形状のコア部から他端の楕円形状のコア部とが連続的に接続されるように中間部を形成する請求項11記載の光ファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光ファイバの製造方法に関するものであり、特に、半導体レーザなどの楕円状のビームを射出する光源との光学的な接続に適したコアの断面形状を有する光ファイバの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバを用いた光計測の技術分野または光通信の技術分野などにおいては、光源から光ビームを光ファイバのコアに効率よく入射させるために種々の工夫を凝らしている。光通信などの技術分野においては、光源として半導体レーザ（またはレーザダイオード：LD）を用いる場合が多い。通常、LDの端部からは断面が楕円状の光ビームが射出される。従来、たとえば、単一モード（SM）の光ファイバのコアは真円に形成されているから、このようになコアを有する光ファイバにLDからの光ビームを入射させるためには、特殊なレンズを有する光学系を用いて、LDから射出した楕円状光ビームを断面が真円状の光ビームにして、光ファイバのコアに入射させるようにしている。しかしながら、このように光学系を用いて光ビームの断面形状を変換することは、複雑な光学系を設ける必要があるから価格が高くなるし、空間的な場所もとる。さらに光学系における光学的損失が発生する。

【0003】そこで、たとえば、モードフィールド変換光ファイバまたはスポットサイズ変換光ファイバを用いることが試みられている。モードフィールド変換光ファイバまたはスポットサイズ変換光ファイバは一端の受光側のコアの断面形状は楕円であり、他端の光射出側のコアの断面形状は真円である。光ファイバの一端（受光側）の楕円形状のコアにLDから射出された楕円状の光ビームを直接入射させ、光ファイバの他端（光射出側）の真円のコアから円形状の光ビームを射出させる。モードフィールド変換光ファイバまたはスポットサイズ変換光ファイバにおいては、長手方向に沿って、楕円の光ビームを円形の光ビームに変換する形状をしている。

【0004】スポットサイズ変換光ファイバを製造する

3

方法が、たとえば、特開平 3-64707 号公報に提案されている。このスポットサイズ変換光ファイバの製造方法を図 13 (A) ~ 図 13 (C) を参照して述べる。図 13 (A) に図解したように、一端のコア 41 の外周にクラッド 42 が形成された楕円コア型光ファイバ 40 を準備する。コア 41 の寸法は、長軸径 $5 \mu\text{m}$ 、短軸径 $2 \mu\text{m}$ で、矩形に近いほぼ楕円である。このような楕円コア型光ファイバの長手方向に沿って熱を加えていくと、図 13 (B) に図解するように楕円が徐々に丸みを帯びて円形になっていく。その結果、他端が図 13

(C) に図解したように円形のコア 41A になる。この円形のコア径は $3.6 \mu\text{m}$ である。熱を加えることで、コア 1 に含まれているドーパントであるゲルマニウム (Ge) が拡散し、スポットサイズは $1.2 \mu\text{m}$ となる。つまり、特開平 3-64707 号公報に提案されている方法は、楕円コアを熱拡散して円形のコアに変化させる。しかしながらこの方法は、実際には楕円コアを真円のコアに変化させることは困難である。その結果、光ファイバの内部を伝搬する光に大きな伝送損失が発生するという問題に遭遇している。さらに、仮に楕円コアから真円コアに変化していったとしても、ドーパントの拡散ではコアとクラッドとの間に屈折率差の減少が生じて、結合効率が減少するという問題が起こる。

【0005】モードフィールド変換光ファイバの従来の製造方法の 1 例を述べる。楕円コアを有する光ファイバと、真円コアを有する光ファイバとを端部で接続し、必要に応じてこの接続部を加熱してコア部のドーパントを拡散させ、長手方向に沿って楕円コア部から真円コア部に形状が徐々に変化する部分を形成させる。したがって、一端が楕円コアであり、他端が真円コアであり、光ファイバの長手方向に沿ってコア部は連続的に徐々に楕円から真円に変化していく。しかしながら、この方法もコアの楕円部分と真円部分との間でコアの不連続部分が生じて、光ファイバの内部を伝搬する光に大きな伝送損失が発生するという問題に遭遇している。また、仮に楕円コアから真円コアに変化していったとしても、ドーパントの拡散ではコアとクラッドとの間に屈折率差の減少が生じて、結合効率が減少するという問題が起こる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、モードフィールド変換光ファイバの製造方法およびスポットサイズ変換光ファイバの製造方法のいずれも、製造された光ファイバが伝送損失が大きいう問題に遭遇している。さらにコアとクラッドとの間の屈折率差の減少が起こるという問題がある。

【0007】従って本発明の目的は、伝送損失が少なく、コアとクラッドとの間の屈折率差の減少が少ない、一端が楕円而他端が真円のコアを有する光ファイバを製造する方法を提供することにある。

【0008】

4

【課題を解決するための手段】本発明の第 1 の形態によれば、長手方向に実質的に均一な断面形状を有するコアと、該コアの長手方向に沿って少なくとも 1 つの貫通孔が形成されたクラッドとを有する均一コア光ファイバの側面から加熱して前記貫通孔の断面形状を連続的に変化させ、その結果として、前記コアの断面形状をその長手方向に沿って変化させ、光ファイバの一端のコアの断面形状と他端のコアの断面形状を異ならせる光ファイバの製造方法が提供される。

【0009】好適には、前記加熱段階において前記貫通孔を減圧する。

【0010】好適には、前記貫通孔が前記コアの両側に 2 つ並設されて形成された均一コア光ファイバを用いて、前記コアの断面形状を長手方向に沿って変化させた光ファイバを製造する。

【0011】特定的には、コアの断面形状が円である均一コア光ファイバを、一端から他端に向けてその側面を加熱して前記貫通孔を縮小させていき、一端のコアの断面形状が円であり、他端のコアの断面形状が楕円であり、その中間部が円から楕円に連続的に変化しているように形成する。

【0012】また特定的には、コアの断面形状が楕円である均一コア光ファイバを、一端から他端に向けてその側面を加熱して前記貫通孔を縮小させていき、一端のコアの断面形状が楕円であり、他端のコアの断面形状が円であり、その中間部が楕円から円に連続的に変化しているように形成する。

【0013】好適には、前記均一コア光ファイバの一端の貫通孔を密閉する処理を行う。さらに好適には、前記均一コア光ファイバの他端の縮小した貫通孔を封止する第 2 の密閉処理を行う。

【0014】本発明の第 2 の形態によれば、最終的に製造すべき光ファイバと相似形状の断面を有し、前記光ファイバのコアとなる部分と、該コアとなる部分に沿って形成された少なくとも 1 つの貫通孔を有するクラッドとなる部分とを有する光ファイバ用母材を線引きして光ファイバを製造する方法であって、前記貫通孔の外周と当該光ファイバ用母材の外周との最短距離を所定の大きさ以上になるように光ファイバ用母材を形成し、該光ファイバ用母材の前記貫通孔にガス圧を加えつつ、所定の線引き温度範囲の温度で線引きする光ファイバの製造方法が提供される。

【0015】好適には、前記最短距離は 10% 以上である。

【0016】また好適には、前記線引き温度は $1800^{\circ}\text{C} \sim 2000^{\circ}\text{C}$ の間に設定される。

【0017】特定的には、前記貫通孔に印加するガス圧は、コアの断面形状を円に向けるときは高くし、コアの断面形状を楕円に向けるときは低くする。

【0018】特定的には、前記製造される光ファイバの

5

一端のコアの断面形状を円にし、他端のコアの断面形状を楕円にし、一端の円形状のコア部から他端の楕円形状のコア部とが連続的に接続されるように中間部を形成する。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の光ファイバの製造方法とそれによって製造された光ファイバの好適な実施例を述べる。

第1実施例

本発明の光ファイバの第1実施例として、モードフィールド変換光ファイバについて述べる。図1は本発明の光ファイバの第1実施例としてのモードフィールド変換光ファイバを製造する前の、長手方向に実質的に均一な断面形状を有するサイドホール（貫通孔）が形成された真円コア光ファイバ1の断面図である。この真円コア光ファイバ1は、真円コア3とその外周に設けられたクラッド2を有している。クラッド2の内部で、かつ、真円コア3の両側には真円コア3の長手方向に沿って、真円コア3の両側に並設された2つのサイドホール（貫通孔）4A、4Bが形成されている。本実施例では、クラッド2の直径が $125\mu\text{m}$ であり、真円コア3の直径が $8.1\mu\text{m}$ であり、サイドホール4A、4Bの直径がそれぞれ $18.9\mu\text{m}$ であり、2つのサイドホール4A、4Bの間隔SDが $38.4\mu\text{m}$ である。クラッド2の材質は純シリカガラスであり、真円コア3の材質はドーパントとしての酸化ゲルマニウムを含むシリカガラスである。真円コア3はVAD法で製造した。クラッド2と真円コア3との屈折率差は0.35%である。

【0020】このサイドホールが形成された真円コア光ファイバ1の製造について述べる。このようなサイドホールが形成された光ファイバの製造方法としては、たとえば、特開昭59-35034号公報において提案されているものが知られている。真円コア光ファイバ1は、通常の光ファイバを製造する場合と同様、最終的に製造しようとするこの真円コア光ファイバ1と相似形の光ファイバ用母材（プリフォーム）を線引きして製造する。光ファイバ用母材は、真円コア光ファイバ1の真円コア3となる部分と、真円コア光ファイバ1のサイドホール4A、4Bとなる部分を有するクラッド2となる部分を有する。サイドホール4A、4Bになる部分は、真円コア3になる部分とクラッド2になる部分からなる、サイドホールが形成されていない通常の光ファイバ用母材を製造後、この光ファイバ用母材に、たとえば、ドリルで孔を開けて形成する。このような光ファイバ用母材のサイドホール4A、4Bになる部分にガスにより圧力をかけながら、加熱状態で延伸して（線引きして）、真円コア光ファイバ1を製造する。したがって、上記光ファイバ用母材から真円コア光ファイバ1を製造する工程は、サイドホール4A、4Bとなる部分をドリルで貫通孔を開けるといった機械加工を除けば、サイドホールが形成さ

6

れていない通常の光ファイバ用母材からサイドホールが形成されていない光ファイバを線引きする通常の工程と同じである。サイドホール4A、4Bとなる部分への加圧条件は、線引温度、線引速度、光ファイバ用母材の直径の太さなどを考慮して決定した。この加圧条件は、通常、予備的な実験で決定できるが、本実施例においては、サイドホール4A、4Bとなる部分への加圧は 50mmHg 前後であった。なお、このサイドホールが形成された光ファイバの製造方法についての改良を第5実施例として後述する。

【0021】図2は上述のようにして製造された真円コア光ファイバ1から、モードフィールド変換光ファイバを製造する装置の概略構成図である。この装置は、ゴム管6と、ゴム栓5と、図示しない真空ポンプおよび図示しない減圧調整治具に接続された接続部7を有している。中空部8は真空ポンプおよび減圧調整治具によって減圧される。真円コア光ファイバ1の端部をゴム栓5に挿入し、サイドホール4A、4Bをゴム管6の中空部8を介して減圧する。サイドホール4A、4Bを減圧しながら、真円コア光ファイバ1の真円コア3を楕円にする部分の両端を保持して、その真円コア3の中央部を側面からバーナー径が 3mm のマイクロトーチ9によるプロパン・酸化火炎で加熱する。中空部8の減圧の程度は加熱温度に依存するが、 -20mmHg より大きな減圧が望ましい。また、加熱処理時には真円コア光ファイバ1は延伸されていない状態が望ましい。その理由は、光ファイバ用母材を延伸すると、真円コア光ファイバ1の直径が細くなるので、真円コア光ファイバ1の機械的な強度が低下するからである。以下、本発明の第1実施例〜第3実施例を述べる。

【0022】第1実験例

ここで用いた真円コア光ファイバ1は、クラッド2の直径が $125\mu\text{m}$ であり、真円コア3の直径が $8.1\mu\text{m}$ であり、サイドホール4A、4Bの直径がそれぞれ $18.9\mu\text{m}$ であり、2つのサイドホール4A、4Bの間隔SDが $38.4\mu\text{m}$ である。クラッド2の材質は純シリカガラスであり、真円コア3の材質はドーパントとしての酸化ゲルマニウムを含むシリカガラスである。真円コア3はVAD法で製造した。クラッド2と真円コア3との屈折率差は0.35%である。図2および図3

(A)に図解したように、バーナー径が 3mm のマイクロトーチ9を用いて加熱温度 $1800\sim 2000^{\circ}\text{C}$ において、真円コア光ファイバ1を加熱し、加熱開始から1分経過後に加熱を中止し、図3(B)に示すように、加熱部分の中心で真円コア光ファイバ1を切断して2本の光ファイバ1A、1Bを得た。これら2本の光ファイバ1A、1Bの切断面、すなわち、加熱部分の断面を調べた結果、サイドホール4A、4Bが実質的に潰れて、真円コア3が楕円状のコア13に変形していた。ただし、加熱していない部分、たとえば、光ファイバ1A、

7

1 Bの両端面は、真円コア3とサイドホール4 A、4 Bがそのまま維持されている。このことから、マイクロトーチ9による加熱により、真円コア光ファイバ1の加熱部分のサイドホール4 A、4 Bが潰れて真円コア3を楕円状コア1 3に変えることができることが判った。換言すれば、サイドホール4 A、4 Bを持つ真円コア光ファイバ1を加熱することにより、楕円状コア1 3を持つ光ファイバに変形できる。

【0023】第2実験例

第1実験例は、真円コア光ファイバ1の一部をマイクロトーチ9で加熱しただけであるが、第2実験例は、マイクロトーチ9を固定しておき、真円コア光ファイバ1を連続的にマイクロトーチ9の火炎の上を通過させた。もちろん、この逆に、真円コア光ファイバ1を延ばしておきマイクロトーチ9の火炎を長手方向に沿って移動させてもよい。要するに、マイクロトーチ9の火炎と真円コア光ファイバ1とを相対的に動かす。その結果、図4に図解したようなモードフィールド変換光ファイバ1 1が製造できた。このモードフィールド変換光ファイバ1 1は、一端が、真円コア3とサイドホール4 A、4 Bを有するクラッド2からなるもとの真円コア光ファイバ1のままであり、他端が加熱によりサイドホール4 A、4 Bが消滅し真円コア3が楕円状コア1 3に変形した光ファイバである。このモードフィールド変換光ファイバ1 1は、もとの真円コア光ファイバ1の状態が維持されている一端から楕円状コア1 3が形成された他端に向かって、真円コア3から楕円状コア1 3に連続的にコアの断面形状が変化している。つまり、モードフィールド変換光ファイバとして形成されている。このモードフィールド変換光ファイバ1 1は、外径120 μm の光ファイバであり、楕円状コア1 3の寸法は長径13.4 μm 、短径4.7 μm であった。

【0024】上記実験例では、加熱処理により、楕円コア1 3側のサイドホール4 A、4 Bは完全に潰れているが、マイクロトーチ9による加熱時間を短くするとサイドホール4 A、4 Bを残すこともできる。また、サイドホール4 A、4 Bの縮小の程度と真円コア3の楕円化の程度には相関関係があり、サイドホール4 A、4 Bの加熱による縮小の程度が小さければ、真円コア3の楕円化の程度も小さい。

【0025】第3実験例

第1実験例および第2実験例はサイドホール4 A、4 Bの内部を減圧して、他端のサイドホール4 A、4 Bを潰した例を示したが、第3実験例はサイドホール4 A、4 Bの内部を減圧せず、他端のサイドホール4 A、4 Bを縮小するに止め、完全には潰さない例を示す。第1実験例に用いたと同じ断面形状の真円コア光ファイバ1を、減圧せずに、加熱温度1800~2000°Cの範囲の任意の温度でマイクロトーチ9で10秒間加熱した。10秒加熱後、この真円コア光ファイバ1を加熱部分で切

8

断し、2本の光ファイバの断面を調べた。その結果、この光ファイバは、一端が真円コア3を有し、他端が楕円コア1 3を有している。つまり、加熱された部分の光ファイバ1 Aの端部はサイドホール4 A、4 Bは縮小したが、潰れずに残った。このとき、クラッド3の直径は123 μm であり、サイドホール4 A、4 Bの直径は22.7 μm 、サイドホール4 A、4 Bの間隔は29.1 μm であった。真円形状のコアは長径10.6 μm 、短径5.5 μm の楕円形状であった。

【0026】以上のように、サイドホール4 A、4 Bの減圧を行うか否か、マイクロトーチ9の火炎によるサイドホールが形成された真円コア光ファイバ1の加熱条件などを変化させることにより、サイドホールが形成された真円コア光ファイバ1のコア3の断面形状およびサイドホール4 A、4 Bの断面形状を種々の変形できる。以上から、第1実施例によれば、条件を適切に設定すれば、希望する特性、希望する断面形状のコアを持つモードフィールド変換光ファイバを製造することができる。

【0027】第1実施例の変形形態

コアの材質は、上記例示に限らない。コアの材質は、酸化ゲルマニウムを含むシリカガラスが好適であるが、酸化リン、酸化チタン、酸化アルミニウムなど通常のコア成分を含むシリカガラスを用いることができる。クラッドの材質も上記例示に限定されない。クラッドの材質は、純シリカガラスが好適であるが、フッ素または酸化硼素を含むシリカガラスを用いることができる。もちろん、コアとクラッドの間には、所定の屈折率差が守られる。サイドホール4 A、4 Bのそれぞれの直径と2つのサイドホール4 A、4 Bの間隔、サイドホール4 A、4 Bと真円コア3との距離も上記例示に限らず、任意に設定できる。ただし、これらの条件は、加熱処理時の真円コアの楕円化の程度を考慮して決定する。加熱手段としては、上述したマイクロトーチに限らず、小型の電気炉などの加熱手段を用いることができる。図2に示した治具も例示であり、これに限定されない。サイドホール4 A、4 Bを上述した条件に則して減圧できる装置であればよい。なお、本発明の第1実施例においては、真円コアとクラッドとその真円コアの両側に、直径方向に対向して位置するようにクラッド中に長手方向に設けたサイドホール4 A、4 Bを形成したサイドホール付真円型光ファイバを用いたが、サイドホール付真円型光ファイバはこの光ファイバと相似で、寸法の大きな光ファイバ用母材を公知の方法で線引することによって製造するので、製造が特別困難ではない。

【0028】以上の実施例においては、2つのサイドホール4 A、4 Bを設けた真円コア光ファイバ1を例示したが、本発明の実施に際しては、サイドホールは必ず2つ設ける必要はない。たとえば、1つのサイドホールを持つ光ファイバに対しても加熱して、あるいは、加熱とともにサイドホールの減圧などを行うことにより、コア

9

の断面形状を変化させることができる。勿論、サイドホールを3つ以上設けることもできる。

【0029】第1実施例の効果を述べる。以上述べたように、本発明の第1実施例による、真円コアとそれを含むクラッドと、好適には、真円コアの両側に2つのサイドホール4A、4Bを形成した真円コア光ファイバ1を、その一部を加熱して楕円化することにより、連続的に真円が楕円化され、一端が真円コアを有し、他端が楕円コアを有するモードフィールド変換光ファイバが形成できた。しかもこのモードフィールド変換光ファイバは、殆ど伝送損失が少ない。さらにサイドホール4A、4Bの内部を減圧しながら加熱すると、低い加熱温度で迅速にサイドホール4A、4Bが潰れるか、潰れないまでも縮小されるから、真円コアの楕円化が一層促進されるとともに、ドーパントの熱拡散が少なくすみ、コア部とクラッド部との屈折率差の減少が少ない。本発明の第1実施例のモードフィールド変換光ファイバは、偏波保存光ファイバまたはセンサ用光ファイバと通常の光ファイバとの接続用光ファイバとして、光通信または光計測などに好適に利用できる。

【0030】第2実施例

本発明の光ファイバの第2実施例として、モードフィールド変換光ファイバについて述べる。第1実施例のモードフィールド変換光ファイバにおいて、一端に潰れずに残っているサイドホール4A、4Bに光吸収性のガスまたは液体が侵入すると、光ファイバの伝送損失が多くなる可能性がある。またサイドホール4A、4Bに侵入するガスまたは液体の種類によっては光ファイバの機械的な特性が変化する可能性がある。第2実施例は上述した第1実施例のモードフィールド変換光ファイバの欠点を改善する。

【0031】図5は本発明の第2実施例のモードフィールド変換光ファイバを示す図である。このモードフィールド変換光ファイバにおいては、図4に示したモードフィールド変換光ファイバの、サイドホール4A、4Bが残っている真円コア光ファイバ1側の端部に、真円コア3と直径と材質が同じ真円コア23と、クラッド2の直径と材質が同じクラッド22を有する短い光ファイバ21を、真円コア3と真円コア23とが一致するように、真円コア光ファイバ1の端部に接続し、サイドホール4A、4Bを外気から密閉するようにしている。

【0032】真円コア光ファイバ1の端部と光ファイバ22との接続について述べる。上記接続としては好適には、密閉性が高い融着接続を行う。融着接続作業として、市販の光ファイバ融着接続機を用いることができる。融着接続の際、融着温度が高いと光ファイバの端面が必要以上に熔融し、サイドホール4A、4Bが潰れてコア部が変形する可能性がある。したがって、ガラスが熔融可能な温度で、できるだけ低温で融着接続することが望ましい。また上記融着接続に代えて上記接続部を接

10

着剤で接続することもできる。さらにサイドホール4A、4Bを密閉する方法としては、上記融着接続または接着剤によるモードフィールド変換光ファイバ11と短い光ファイバ21との接続に限らず、ガラス、透明プラスチックの薄板または固まり（ブロック）を用いてサイドホール4A、4Bを塞ぐように被せて、光ファイバ21と接着剤で、あるいは機械的に押さえてもよい。さらに、上述した密閉方法に限らず、サイドホール4A、4Bにガラス、透明で緻密な有機物を充填させサイドホール4A、4Bを密閉させることもできる。ガラスを充填する場合、低融点ガラスを熔融状態でサイドホール4A、4Bに充填し、その後冷却して固化させる方法をとることができる。あるいは、ゾル・ゾル原料をサイドホール4A、4Bに充填し、反応固化させることもできる。有機物をサイドホール4A、4Bに充填する場合は加熱熔融したプラスチックをサイドホール4A、4Bに充填し、冷却固化させる。またサイドホール4A、4Bに熱硬化性樹脂または光硬化性樹脂を充填し、熱または光を加えて硬化させてサイドホール4A、4Bを密閉することもできる。従って、サイドホール4A、4Bの密閉は上述した端部の融着接続に限らず種々の方法をとることができる。

【0033】第2実施例の効果を述べる。光ファイバ21を真円コア光ファイバ1の端部に接続するなどの方法でサイドホール4A、4Bを密閉することにより、サイドホール4A、4Bに光吸収性のガスまたは液体が侵入することが防止されるから、光ファイバの伝送損失は変化しない。また、光ファイバ11の機械的な特性が変化することも防止できる。

【0034】第2実施例の変形例

図6は図5に示したモードフィールド変換光ファイバの変形例を示す図である。図6に示したモードフィールド変換光ファイバにおいては、サイドホール4A、4Bが残っている光ファイバ11の端部11Aに、真円コア3、サイドホール4A、4B、クラッド2を有する短い真円コア光ファイバ12を、真円コア3同士を一致させて接続している。ただし、サイドホール4A、4Bを一致させないように、図示の例ではお互いのサイドホール4A、4Bを直交させるようにして、モードフィールド変換光ファイバの端部11A側のサイドホール4A、4Bが密閉されるように、モードフィールド変換光ファイバの11Aの端部に真円コア光ファイバ12を接続したものである。上記接続の詳細およびその変形例は上記第2実施例において述べたと同様種々の方法をとることができる。この第2実施例の変形例においても、モードフィールド変換光ファイバの端部11A側のサイドホール4A、4Bが密閉される。したがって、この実施例においても、上記第2実施例と同様の効果を奏することができる。なおこの変形例においては、モードフィールド変換光ファイバ11を形成する前の真円コア光ファイバ1

11

2を用いることができるので、特別の端部密閉用光ファイバを準備する必要がないという効果を奏する。

【0035】第3実施例

図7は第2実施例の変形形態としての第3実施例のモードフィールド変換光ファイバを図解する図である。図7に図解したモードフィールド変換光ファイバ11は、コア3が円のままの光ファイバ1の端面11A側に図4に図解した光ファイバ21を設けたほか（または図6に図解した真円コア光ファイバ12を設けたほか）、サイドホール4A、4Bが縮小して孔4A'、4B' 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

【0036】図7に図解したように、モードフィールド変換光ファイバ11の端部11Bの楕円コア13と同じ断面形状の楕円コア26ではなく、楕円化コア13の長径と直径が同じ円コアを有する光ファイバを、上記光ファイバ24に代えて、モードフィールド変換光ファイバ11の他端部11Bに、楕円コア13の長径と円コアの40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

【0037】第3実施例の効果を述べる。第3実施例においては、第2実施例として述べたモードフィールド変換光ファイバの効果に加えて、楕円コア13側の端部の密閉が行われるから、一層、モードフィールド変換光ファイバの伝送損失は変化せず、機械的な特性が変化することが防止できる。

【0038】第4実施例

12

図8は第4実施例のモードフィールド変換光ファイバを示す図である。第4実施例のモードフィールド変換光ファイバは、第2実施例として図5に示した、モードフィールド変換光ファイバに接続した真円コア光ファイバ21を、長尺の光ファイバ21Aに代えて、端部11Aに接続したものである。モードフィールド変換光ファイバ11の楕円コア側の端部と光ファイバ21Aの端部との接続は第2実施例と同様である。第4実施例の効果を述べる。第4実施例のモードフィールド変換光ファイバは、図5～図7に図解したモードフィールド変換光ファイバと比較すると、接続した光ファイバ21Aがそのまま光通信または光計測などに使用できるという利点を有している。なお、光ファイバ21Aによるサイドホール4A、4Bの密閉の基本的な効果は、第2実施例～第3実施例と同様である。

【0039】第5実施例

第5実施例は光ファイバ用母材からコアの両側にサイドホールを有する光ファイバの製造について述べる。コアの両側にサイドホールを設けた光ファイバ自体は、偏波面保存用のサイドビット付光ファイバ（エレクトロニクス・レターズ誌、18巻、824-826ページ）、1981年）、圧力センサ用光ファイバ（オフテックス・レターズ誌、11巻、333-335ページ、1986年）、EO効果付与光ファイバ（OFC'95講演要旨集、PD-6、1995年）などに紹介されている。このようなサイドホール付光ファイバの製造方法としては、たとえば、特開昭59-35034号公報において提案されているものが知られている。この方法は上述したように、コア部の両側にサイドホールを形成する光ファイバと相似で寸法の大きな光ファイバ用母材をそのサイドホール内のガス圧を制御しながら、加熱延伸する方法である。しかしながら、この公開公報には、光ファイバ用母材のサイドホールにガス圧をかけながら加熱延伸（線引き）を行うと、光ファイバの外周部に突起または溝が発生すると記述されている。光ファイバの外周部に突起または溝が存在することは、光ファイバの機械的な強度が低下する可能性がある上、他の光ファイバとの接続が困難になる。上記公開公報には光ファイバの外周形状については記述があるが、光ファイバのコアの形状変化についての記述はない。そこで、本件出願の発明者が、本発明のモードフィールド変換光ファイバに適用する光ファイバを意図して、コアの両側のサイドホールを有する光ファイバ用母材をサイドホールにガス圧をかけながら線引きしてみた。その結果、線引きされた光ファイバの外周形状には変化はないが、光ファイバのコアの形状が種々変化することを見出した。本発明の第5実施例はその知見に基づき、モードフィールド変換光ファイバに好適な光ファイバの製造に関する。以下その詳細を述べる。

50 【0040】第1実施例

13

第5実施例の第1実験例を述べる。通常のVAD法で製造したクラッド／コア比＝15.6倍、コアの比屈折率差 $\Delta=0.35\%$ の外径26mmの石英ガラスのシングルモード光ファイバ用母材にドリルでサイドホールとなる部分に孔を開けて光ファイバ用母材とした。この光ファイバ用母材は図1に示した光ファイバと相似である。図9にその断面を示す。この光ファイバ用母材10のサイドホール40A、40Bの間隔SDは4mm、サイドホールの口径SRは6mm、最短距離MDは10mmである。この最短距離MDは母材外径Dの19%に相当する。

【0041】このような光ファイバ用母材を図10に示す線引き装置で線引きした。サイドホールが形成された光ファイバ用母材（プリフォーム）50を加熱部101に挿入し、上部からサイドホールに窒素ガスを導入する。窒素ガスは圧力緩衝容器102を介して加圧系管103を経由してサイドホールに加えられる。なお、光ファイバ用母材の楕円率 ϵ は、

$$\epsilon = 1 - (a/b)$$

【0044】コアとなる部分の両側にサイドホールが形成された光ファイバ用母材を、サイドホールの内部にガス圧をかけないで、加熱線引きすると、ガラスの表面張力によってサイドホールは潰れ、コアは楕円化する。ところが、サイドホールになる部分にガス圧をかけておくと、このガス圧によってサイドホールになる部分の縮小の程度を制御できる。その結果、コアとなる部分の形状を制御できる。サイドホールへのガス圧は外圧に対して加圧でも減圧でもよい。サイドホールへのガス圧を高くすると製造される光ファイバのコアの楕円率 ϵ が減少し、真円に近くなっていく。ここで得られた光ファイバの外周はいずれも楕円率10%以下でほぼ円形であった。

【0045】光ファイバ用母材を線引き中に、長手方向に沿ってガス圧を徐々に変化させていけば、製造される光ファイバの長手方向に沿って、コアの楕円率 ϵ が徐々に変化する光ファイバを製造することができる。

【0046】またサイドホールの外周と光ファイバ用母材の外周との最短距離MDに注目すると、最短距離MDを光ファイバ用母材の外径の5%以上にした光ファイバ用母材を線引きすると、線引き時に光ファイバの外周部に突起や溝が発生せず、光ファイバの外周はほぼ真円を保ち、コアの形状のみが変化することが判った。この最短距離MDについては下記のように分析される。最短距離MDは、光ファイバ用母材の最小肉厚を意味している。最短距離MDが短いと、すなわち、光ファイバ用母材の肉厚が薄いと、サイドホールにガス圧をかけながら光ファイバ用母材を加熱線引きするとき、ガス圧が光ファイバ用母材の外周形状に与える影響は大きい。その結果、製造される光ファイバの外周に突起や溝が発生する可能性が高くなる。逆に、最短距離MDが長いと、すなわち、光ファイバ用母材の最小肉厚が厚いと、サイドホ

14

*ファイバ用母材50のサイドホールには減圧系管104を介して真空ポンプ105が接続されている。これら加圧系と減圧系を調整して、光ファイバ用母材50のサイドホールの窒素圧力を制御しながら加熱炉101の加熱温度を1870°C、線引速度20m/分で外径125 μ mの光ファイバ51を線引きした。この光ファイバ51は樹脂被着部106で樹脂被覆され、紫外線硬化部107を経由して、ダンサーローラなどを経由して巻取りローラ108に巻き取られる。

【0042】図11に示したように、光ファイバ用母材50のサイドホールへのガス圧を変化させると種々のコア形状を有するサイドホールが形成された光ファイバを製造できた。図11の横軸はサイドホールにおけるガス圧を示し、縦軸はコアの楕円率を示す。なお、楕円率 ϵ は、コアの短径a、長径bとすると、下記式で表される。

【0043】

・・・(1)

ールにかけたガス圧の影響は光ファイバ用母材の外周より、コアの形状に大きく作用する。実験の結果、最短距離MDは光ファイバ用母材の外周の10%以上であることが好ましいことが判った。

【0047】また、加熱炉における光ファイバ用母材の加熱線引き温度は線引き可能な温度でできるだけ低い温度が好ましい。線引き温度が高いとサイドホールにかけたガス圧によって光ファイバ用母材の外周に変化が起きやすいからである。好ましい線引き温度は2000°C以下である。このような線引温度で光ファイバ用母材の線引きを行うと、光ファイバの外周形状が変化しないガス圧の範囲が広がる。換言すれば、コアの形状を種々変化させるガス圧を広く設定できる。

【0048】比較例

上記同様の光ファイバ用母材を通常の線引装置でサイドホールにガス圧を加えないで、線引温度は1870°C、線引速度は20m/分で線引きして、外径125 μ mの光ファイバを製造した。その結果、光ファイバの外周の楕円率は34%であった。なお、第1実験例の光ファイバの外周形状の楕円率はいずれも楕円率10%以下のほぼ円形であった。比較例として、光ファイバ用母材の外径を種々変化させて線引きした結果を、図12に示した。外形形状の楕円率はいずれも、第1実験例よりも、大きい。

【0049】第2実験例

第5実施例の第2実験例を述べる。通常のVAD法で製造したクラッド／コア比＝15.6倍、コアの比屈折率差 $\Delta=0.35\%$ の外径26mmの石英ガラスのシングルモード光ファイバ用母材に対してドリルでサイドホールとなる部分に孔を開けた。この光ファイバ用母材のサイドホール間隔は3.3mm、サイドホール口径は8mm、最短距離は2.85mmである。最短距離MDは光

15

ファイバ用母材の外径Dの11%に相当する。このような光ファイバ用母材を図10に示す線引装置を用いて線引きした。光ファイバ用母材(プリフォーム)50を加熱部101に挿入し、その上部からサイドホールに、圧力26.7mmH₂Oの窒素ガスをかける。加熱炉101の加熱温度を1830°C、線引速度20m/分で外径125μmの光ファイバ51を線引きした。その結果、サイドホール間隔が13.6μm、サイドホール口径が42μm、最短距離MDが13.7μm、コア径が6μm×5μmの楕円形状、楕円率17%の楕円コア、シングルモード光ファイバが製造できた。光ファイバの外周は楕円率ε=1%以内であり、ほぼ円形であった。

【0050】以上述べたように、本実施例によれば、ほぼ円形の外周を持ち、任意の形状を持つコアを有する光ファイバを製造できる。このようにして製造した光ファイバを用いて、上述したモードフィールド変換光ファイバを製造した。その結果、より品質の高いモードフィールド変換光ファイバが製造できた。

【0051】本発明の光ファイバの製造に際しては上述した実施例に限定されない。たとえば、上述して実施例と均等または代替の方法をとることができる。さらに上述した実施例を適宜組み合わせることができる。また本発明においては、上述したように、真円コアを有する真円コア光ファイバから他端を楕円コアにした光ファイバを製造することができるほか、その逆に、楕円コアを有する光ファイバから他端が円形のコアを有する光ファイバを製造することができる。

【0052】

【発明の効果】以上述べたように、本発明の光ファイバの製造方法によれば、半導体レーザなどを光源にした場合に好適なモードフィールド変換光ファイバを製造できる。本発明の光ファイバの製造方法によって製造された光ファイバは外形形状が均一で、伝送損失が変化しない。さらに、コアとクラッドとの屈折率サイドホールの減少が少ない。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明の第1実施例の真円コア光ファイバの断面図である。

【図2】図2は図1に示した真円コア光ファイバを加工

16

*する治具の構成図である。

【図3】図3(A)および図3(B)は本発明の第1実施例における真円コア光ファイバを加熱してコアの断面形状を変化させることを図解した図である。

【図4】図4は本発明の第1実施例において製造されたモードフィールド変換光ファイバを図解する図である。

【図5】図5は本発明の第2実施例において製造されたモードフィールド変換光ファイバを図解する図である。

【図6】図6は図5に示したモードフィールド変換光ファイバの変形例を図解する図である。

【図7】図7は本発明の第3実施例において製造されたモードフィールド変換光ファイバを図解する図である。

【図8】図8は本発明の第4実施例において製造されたモードフィールド変換光ファイバを図解する図である。

【図9】図9は本発明の第5実施例に用いる光ファイバ用母材の断面図である。

【図10】図10は図9に示した光ファイバ用母材から光ファイバを線引して製造する装置の構成図である。

【図11】図11は図11の装置で製造されに光ファイバの貫通孔の内圧とコアの楕円率との関係を示したグラフである。

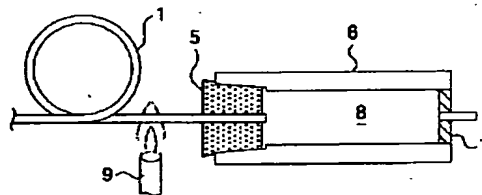
【図12】図12は光ファイバ用母材の外径と線引されて光ファイバのコアの楕円率との関係を示すグラフである。

【図13】図13(A)～図13(C)は従来のスポットサイズ変換光ファイバを製造する方法を示す図である。

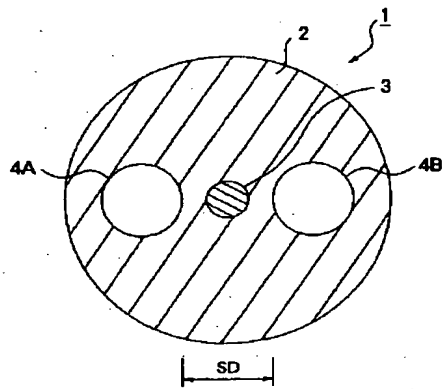
【符号の説明】

- 1・・・真円コア光ファイバ
- 2・・・クラッド
- 3・・・真円コア
- 4A, 4B・・・サイドホール(貫通孔)
- 5・・・ゴム栓
- 6・・・ゴム管
- 7・・・接続部
- 8・・・中空部
- 9・・・マイクロトーチ
- 11・・・モードフィールド変換光ファイバ
- 13・・・楕円状コア

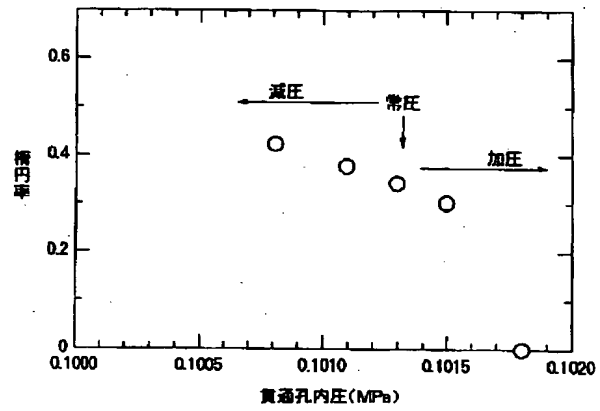
【図2】



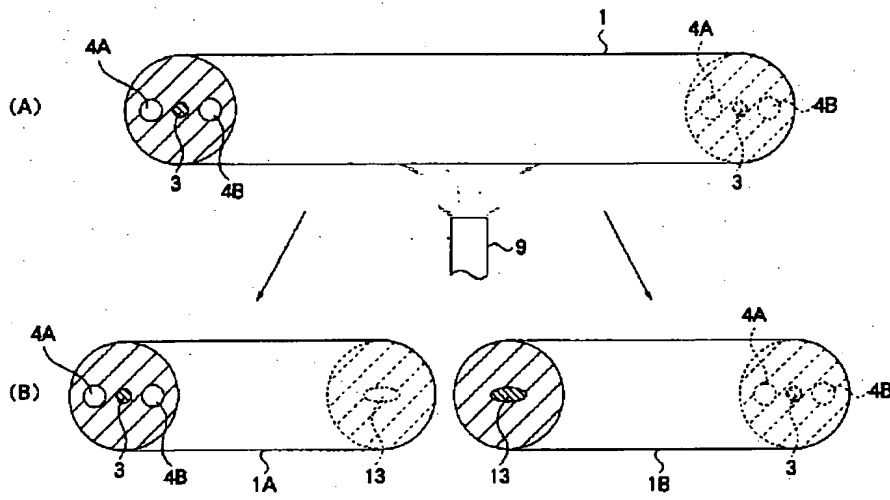
【図1】



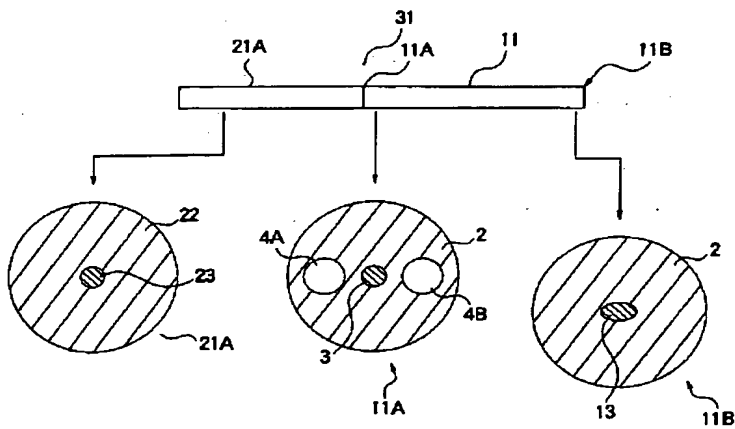
【図11】



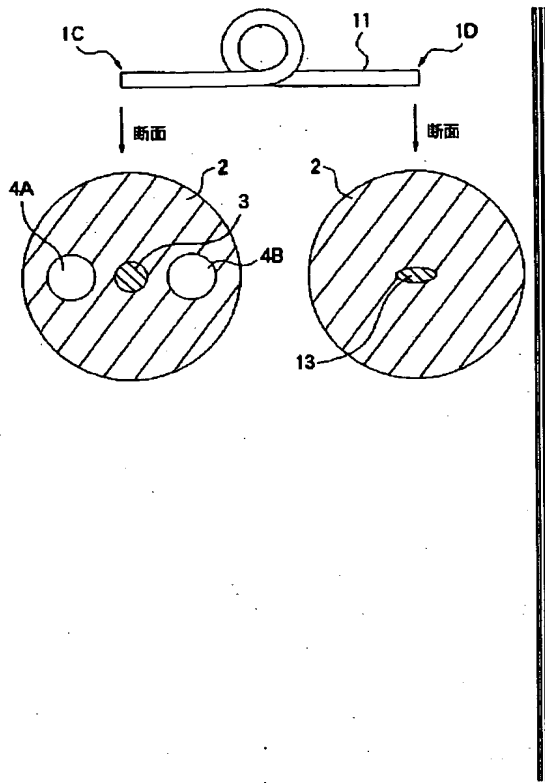
【図3】



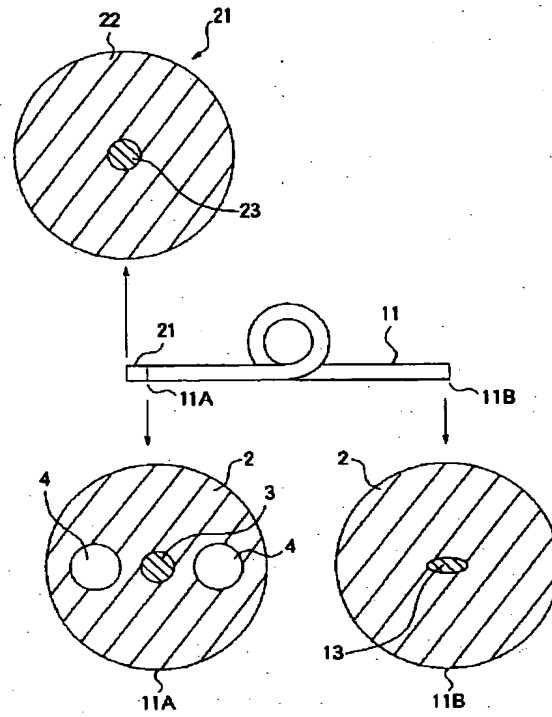
【図8】



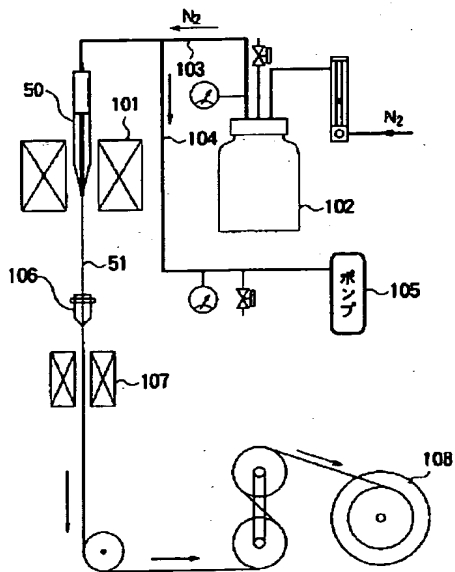
【図 4】



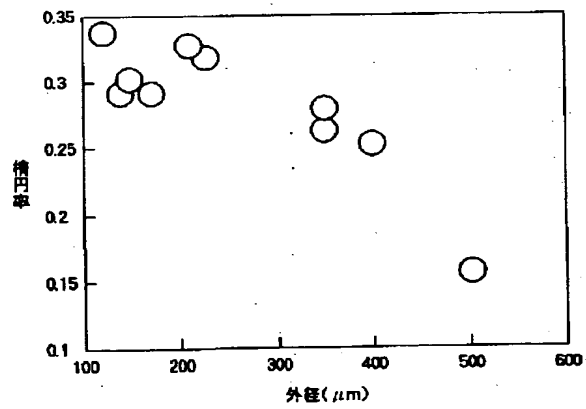
【図 5】



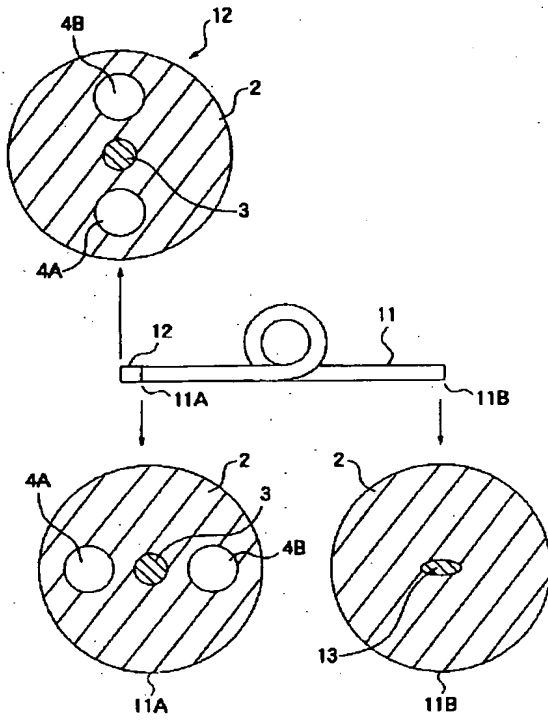
【図 10】



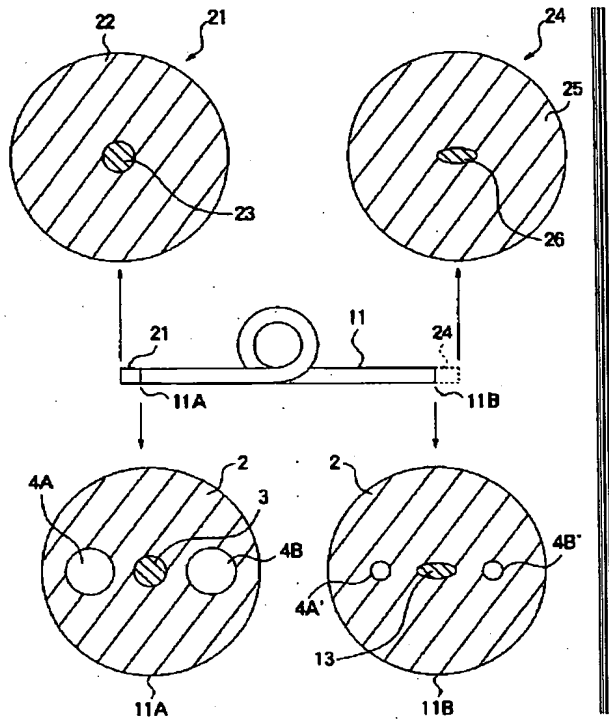
【図 12】



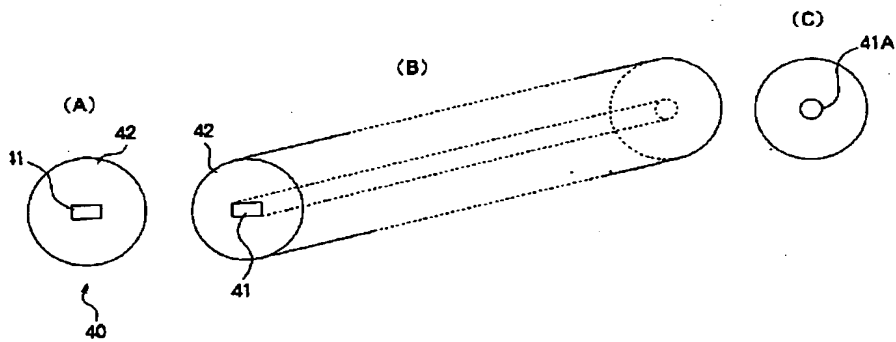
【図6】



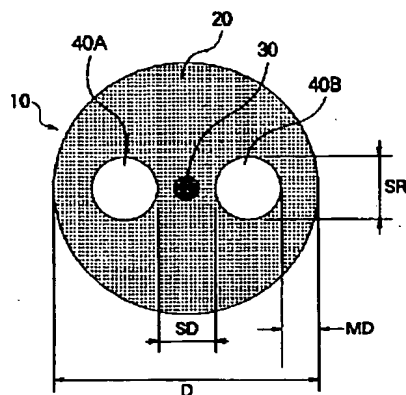
【図7】



【図13】



【図 9】



【手続補正書】

【提出日】平成 7 年 1 月 2 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】光ファイバの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】長手方向に実質的に均一な断面形状を有するコアと、該コアの長手方向に沿って少なくとも 1 つの貫通孔が形成されたクラッドとを有する均一コア光ファイバの側面から加熱して加熱部位から実質的に熱伝達が及ばなくなる部位まで、前記光ファイバの長手方向に沿って前記貫通孔の断面形状を連続的に変化させ、その結果として、前記コアの断面形状を前記加熱部位から前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位まで連続的に変化させる光ファイバの製造方法。

【請求項 2】前記加熱段階において前記貫通孔を減圧する請求項 1 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 3】前記貫通孔が前記コアの両側に 2 つ形成さ

れている光ファイバについて、前記加熱部位から前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位までの前記コアの断面形状を前記光ファイバの長手方向に沿って変化させた光ファイバを製造する請求項 1 または 2 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 4】前記加熱前のコアの断面形状が円である均一コア光ファイバについて、

前記加熱段階において該光ファイバの側面から加熱して前記貫通孔を縮小させていき、その結果として、前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位のコアの断面形状が円であり、前記加熱部位のコアの断面形状が楕円であり、前記加熱部位から前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位までのコアの断面形状が円から楕円に連続的に変化しているように形成する請求項 1 ～ 3 いずれか記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 5】前記加熱前のコアの断面形状が楕円である均一コア光ファイバについて、

前記加熱段階において該光ファイバの側面から加熱して前記貫通孔を縮小させていき、その結果として、前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位のコアの断面形状が円であり、前記加熱部位のコアの断面形状が楕円であり、

前記加熱部位から前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位までのコアの断面形状が円から楕円に連続的に変化しているように形成する請求項 1～3 いずれか記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 5】前記加熱前のコアの断面形状が楕円である均一コア光ファイバについて、
前記加熱段階において該光ファイバの側面を加熱して前記貫通孔を縮小させていき、その結果として、前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位のコアの断面形状が楕円であり、前記加熱部位のコアの断面形状が円であり、前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位までのコアの断面形状が楕円から円に連続的に変化しているように形成する請求項 1～3 いずれか記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 6】前記加熱の後に前記均一コア光ファイバの端部の貫通孔の部分に密閉する処理を行う、請求項 4 または 5 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 7】前記均一コア光ファイバの前記加熱部位の縮小した貫通孔を密閉する処理を行う請求項 4～6 いずれか記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 8】最終的に製造すべき光ファイバと相似形状の断面を有し、前記光ファイバのコアとなる部分と、該コアとなる部分に沿って形成された少なくとも 1 つの貫通孔を有するクラッドとなる部分とを有する光ファイバ用母材を線引きして光ファイバを製造する際、前記光ファイバ用母材の貫通孔の外周と当該光ファイバ用母材の外周との最短距離を所定の大きさ以上になるように光ファイバ用母材を形成し、
該光ファイバ用母材の前記貫通孔にガス圧を加えつつ、所定の線引温度範囲の温度で線引きする光ファイバの製造方法。

【請求項 9】前記最短距離は 10% 以上である請求項 8 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 10】前記線引温度は $1800^{\circ}\text{C} \sim 2000^{\circ}\text{C}$ の間に設定される請求項 8 または 9 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 11】前記貫通孔に印加するガス圧は、前記コアの断面形状を円に向けるときは高くし、前記コアの断面形状を楕円に向けるときは低くする、請求項 8～10 いずれか記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 12】前記製造される光ファイバの第 1 部位のコアの断面形状を円にし、前記第 1 部位とは異なる第 2 部位のコアの断面形状を楕円にし、第 1 部位の円形状のコアと第 2 部位の楕円形状のコアが連続的に接続されるように、前記第 1 部位と前記第 2 部位との間の部分のコアを形成する請求項 11 記載の光ファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光ファイバの製造方法に関するものであり、特に、半導体レーザなどの楕円状のビームを射出する光源との光学的な接続に適したコ

アの断面形状を有する光ファイバの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバを用いた光計測の技術分野または光通信の技術分野などにおいては、光源から光ビームを光ファイバのコアに効率よく入射させるために種々の工夫を凝らしている。光通信などの技術分野においては、光源として半導体レーザ（またはレーザダイオード：LD）を用いる場合が多い。通常、LD の端部からは断面が楕円状の光ビームが射出される。従来、たとえば、単一モード（SM）の光ファイバのコアは真円に形成されているから、このようになコアを有する光ファイバに LD からの光ビームを入射させるためには、特殊なレンズを有する光学系を用いて、LD から射出した楕円状光ビームを断面が真円状の光ビームにして、光ファイバのコアに入射させるようにしている。しかしながら、このように光学系を用いて光ビームの断面形状を変換することは、複雑な光学系を設ける必要があるから価格が高くなるし、空間的な場所もとる。さらに光学系における光学的損失が発生する。

【0003】そこで、たとえば、モードフィールド変換光ファイバまたはスポットサイズ変換光ファイバを用いることが試みられている。モードフィールド変換光ファイバまたはスポットサイズ変換光ファイバは一端の受光側のコアの断面形状は楕円であり、他端の光射出側のコアの断面形状は真円である。光ファイバの一端（受光側）の楕円形状のコアに LD から射出された楕円状の光ビームを直接入射させ、光ファイバの他端（光射出側）の真円のコアから円形状の光ビームを射出させる。モードフィールド変換光ファイバまたはスポットサイズ変換光ファイバにおいては、長手方向に沿って、楕円の光ビームを円形の光ビームに変換する形状をしている。

【0004】スポットサイズ変換光ファイバを製造する方法が、たとえば、特開平 3-64707 号公報に提案されている。このスポットサイズ変換光ファイバの製造方法を図 13 (A)～図 13 (C) を参照して述べる。図 13 (A) に図解したように、コア 41 の外周にクラッド 42 が形成された楕円コア型光ファイバ 40 を準備する。コア 41 の寸法は、長軸径 $5\mu\text{m}$ 、短軸径 $2\mu\text{m}$ で、矩形に近いほぼ楕円である。このような楕円コア型光ファイバの側面から熱を加えると、図 13 (B) に図解するように、加熱部位から、熱伝導につれてその熱伝導が実質的に及ばなくなる部位の間で断面形状が楕円のコア 41 が徐々に丸みを帯びて断面形状が円形のコア 41A になっていく。その結果、一端は図 3 (A) に図解したように断面形状が楕円のコア 41 で、かつ他端は図 13 (C) に図解したように円形のコア 41A になる。この円形のコア径は $3.6\mu\text{m}$ である。熱を加えることで、コア 1 に含まれているドーパントであるゲルマニウム (Ge) が拡散し、スポットサイズは $11.2\mu\text{m}$ となる。つまり、特開平 3-64707 号公報に提案され

ている方法は、楕円コアを熱拡散して円形のコアに変化させる。しかしながらこの方法は、実際には楕円コアを真円のコアに変化させることは困難である。その結果、光ファイバの内部を伝搬する光に大きな伝送損失が発生するという問題に遭遇している。さらに、仮に楕円コアから真円コアに変化していったと仮定しても、この方法ではドーパントの拡散ではコアとクラッドとの間に屈折率差の減少が生じて、結合効率が減少するという問題が起こる。

【0005】モードフィールド変換光ファイバの従来の製造方法の1例を述べる。楕円コアを有する光ファイバと、真円コアを有する光ファイバとを端部で接続し、必要に応じてこの接続部を加熱してコア部のドーパントを拡散させ、長手方向に沿って楕円コア部から真円コア部に形状が徐々に変化する部分を形成させる。したがって、一端が楕円コアであり、他端が真円コアであり、光ファイバの長手方向に沿ってコア部は連続的に徐々に楕円から真円に変化していく。しかしながら、この方法もコアの楕円部分と真円部分との間でコアの不連続部分が生じて、光ファイバの内部を伝搬する光に大きな伝送損失が発生するという問題に遭遇している。また、仮に楕円コアから真円コアに変化していったとしても、ドーパントの拡散ではコアとクラッドとの間に屈折率差の減少が生じて、結合効率が減少するという問題が起こる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、モードフィールド変換光ファイバの製造方法およびスポットサイズ変換光ファイバの製造方法のいずれも、製造された光ファイバが伝送損失が大きいう問題に遭遇している。さらにコアとクラッドとの間の屈折率差の減少が起こるという問題に遭遇する。

【0007】従って本発明の目的は、伝送損失が少なく、コアとクラッドとの間の屈折率差の減少が少ない、ある部位（第1部位）の断面形状が楕円でこの楕円の第1部位から所定間隔隔てた他の部位（第2部位）の断面形状が真円のコア、あるいは、この逆に、第1部位の断面形状が真円で第2部位の断面形状が楕円のコアを有する光ファイバを製造する方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の形態によれば、長手方向に実質的に均一な断面形状を有するコアと、該コアの長手方向に沿って少なくとも1つの貫通孔が形成されたクラッドとを有する均一コア光ファイバの側面から加熱して加熱部位から実質的に熱伝達が及ばなくなる部位まで、前記光ファイバの長手方向に沿って前記貫通孔の断面形状を連続的に変化させ、その結果として、前記コアの断面形状を前記加熱部位から前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位まで連続的に変化させる光ファイバの製造方法が提供される。

【0009】好適には、前記加熱段階において前記貫通

孔を減圧する。

【0010】また好適には、前記貫通孔が前記コアの両側に2つ形成されている光ファイバについて、前記加熱部位から前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位までの前記コアの断面形状を前記光ファイバの長手方向に沿って変化させた光ファイバを製造する。

【0011】好適には、前記加熱前のコアの断面形状が円である均一コア光ファイバについて、前記加熱段階において該光ファイバの側面から加熱して前記貫通孔を縮小させていき、その結果として、前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位のコアの断面形状が円であり、前記加熱部位のコアの断面形状が楕円であり、前記加熱部位から前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位までのコアの断面形状が円から楕円に連続的に変化しているように形成する。あるいは、前記加熱前のコアの断面形状が楕円である均一コア光ファイバについて、前記加熱段階において該光ファイバの側面を加熱して前記貫通孔を縮小させていき、その結果として、前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位のコアの断面形状が楕円であり、前記加熱部位のコアの断面形状が円であり、前記実質的に熱伝達が及ばなくなる部位までのコアの断面形状が楕円から円に連続的に変化しているように形成する。

【0012】さらに好適には、前記加熱の後に前記均一コア光ファイバの端部の貫通孔の部分を密閉する処理を行う。

【0013】また好適には、前記均一コア光ファイバの前記加熱部位の縮小した貫通孔を密閉する処理を行う。

【0014】本発明の第2の形態によれば、(a)最終的に製造すべき光ファイバと相似形状の断面を有し、前記光ファイバのコアとなる部分と、該コアとなる部分に沿って形成された少なくとも1つの貫通孔を有するクラッドとなる部分とを有する光ファイバ用母材を線引きして光ファイバを製造する際、前記光ファイバ用母材の貫通孔の外周と当該光ファイバ用母材の外周との最短距離を所定の大きさ以上になるように光ファイバ用母材を形成し、(b)該光ファイバ用母材の前記貫通孔にガス圧を加えつつ、所定の線引温度範囲の温度で線引きする、光ファイバの製造方法が提供される。

【0015】好適には、前記最短距離は10%以上である。

【0016】また好適には、前記線引温度は1800°C～2000°Cの間に設定される。

【0017】特定的には、前記貫通孔に印加するガス圧は、前記コアの断面形状を円に向けるときは高くし、前記コアの断面形状を楕円に向けるときは低くする。

【0018】特定的には、前記製造される光ファイバの第1部位のコアの断面形状を円にし、前記第1部位とは異なる第2部位のコアの断面形状を楕円にし、第1部位の円形状のコアと第2部位の楕円形状のコアが連続的に接続されるように、前記第1部位と前記第2部位との間

の部分のコアを形成する。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の光ファイバの製造方法とそれによって製造された光ファイバの好適な実施例を述べる。

【第1実施例】本発明の光ファイバの第1実施例として、モードフィールド変換光ファイバについて述べる。図1は本発明の光ファイバの第1実施例としてのモードフィールド変換光ファイバを製造する前の、長手方向に実質的に均一な断面形状を有するサイドホール（貫通孔）が形成された真円コア光ファイバ1の断面図である。この真円コア光ファイバ1は、真円コア3とその外周に設けられたクラッド2を有している。クラッド2の内部で、かつ、真円コア3の両側には真円コア3の長手方向に沿って、真円コア3の両側に並設された2つのサイドホール（貫通孔）4A、4Bが形成されている。本実施例では、クラッド2の直径が $125\mu\text{m}$ であり、真円コア3の直径が $8.1\mu\text{m}$ であり、サイドホール4A、4Bの直径がそれぞれ $18.9\mu\text{m}$ であり、2つのサイドホール4A、4Bの間隔SDが $38.4\mu\text{m}$ である。クラッド2の材質は純シリカガラスであり、真円コア3の材質はドーパントとしての酸化ゲルマニウムを含むシリカガラスである。真円コア3はVAD法で製造した。クラッド2と真円コア3との屈折率差は0.35%である。

【0020】このサイドホールが形成された真円コア光ファイバ1の製造について述べる。このようなサイドホールが形成された光ファイバの製造方法としては、たとえば、特開昭59-35034号公報において提案されているものが知られている。真円コア光ファイバ1は、通常の光ファイバを製造する場合と同様、最終的に製造しようとするこの真円コア光ファイバ1と相似形の光ファイバ用母材（プリフォーム）を線引きして製造する。光ファイバ用母材は、真円コア光ファイバ1の真円コア3となる部分と、真円コア光ファイバ1のサイドホール4A、4Bとなる部分を有するクラッド2となる部分を有する。サイドホール4A、4Bになる部分は、真円コア3になる部分とクラッド2になる部分からなる、サイドホールが形成されていない通常の光ファイバ用母材を製造後、この光ファイバ用母材に、たとえば、ドリルで孔を開けて形成する。このような光ファイバ用母材のサイドホール4A、4Bになる部分にガスにより圧力をかけながら、加熱状態で延伸して（線引きして）、真円コア光ファイバ1を製造する。したがって、上記光ファイバ用母材から真円コア光ファイバ1を製造する工程は、サイドホール4A、4Bとなる部分をドリルで貫通孔を開けるといった機械加工を除けば、サイドホールが形成されていない通常の光ファイバ用母材からサイドホールが形成されていない光ファイバを線引きする通常の工程と同じである。サイドホール4A、4Bとなる部分への加

圧条件は、線引温度、線引速度、光ファイバ用母材の直径の太さなどを考慮して決定した。この加圧条件は、通常、予備的な実験で決定できるが、本実施例においては、サイドホール4A、4Bとなる部分への加圧は 50mmHg 前後であった。なお、このサイドホールが形成された光ファイバの製造方法についての改良を第5実施例として後述する。

【0021】図2は上述のようにして製造された真円コア光ファイバ1から、モードフィールド変換光ファイバを製造する装置の概略構成図である。この装置は、ゴム管6と、ゴム栓5と、図示しない真空ポンプおよび図示しない減圧調整治具に接続された接続部7を有している。中空部8は真空ポンプおよび減圧調整治具によって減圧される。真円コア光ファイバ1の端部をゴム栓5に挿入し、サイドホール4A、4Bをゴム管6の中空部8を介して減圧する。サイドホール4A、4Bを減圧しながら、真円コア光ファイバ1の真円コア3を楕円にする部分の両端を保持して、その真円コア3の中央部を側面からバーナー径が 3mm のマイクロトーチ9によるプロパン・酸化火炎で加熱する。中空部8の減圧の程度は加熱温度に依存するが、 -20mmHg より大きな減圧が望ましい。また加熱処理時には真円コア光ファイバ1は延伸されていない状態が望ましい。その理由は、光ファイバ用母材を延伸すると、真円コア光ファイバ1の直径が細くなるので、真円コア光ファイバ1の機械的な強度が低下するからである。以下、本発明の第1実験例～第3実験例を述べる。

【0022】【第1実験例】ここで用いた真円コア光ファイバ1は、クラッド2の直径が $125\mu\text{m}$ であり、真円コア3の直径が $8.1\mu\text{m}$ であり、サイドホール4A、4Bの直径がそれぞれ $18.9\mu\text{m}$ であり、2つのサイドホール4A、4Bの間隔SDが $38.4\mu\text{m}$ である。クラッド2の材質は純シリカガラスであり、真円コア3の材質はドーパントとしての酸化ゲルマニウムを含むシリカガラスである。真円コア3はVAD法で製造した。クラッド2と真円コア3との屈折率差は0.35%である。図2および図3(A)に図解したように、バーナー径が 3mm のマイクロトーチ9を用いて加熱温度 $1800\sim 2000^{\circ}\text{C}$ において、真円コア光ファイバ1を加熱し、加熱開始から1分経過後に加熱を中止し、図3(B)に示すように、加熱部分の中心で真円コア光ファイバ1を切断して2本の光ファイバ1A、1Bを得た。これら2本の光ファイバ1A、1Bの切断面、すなわち、加熱部分の断面を調べた結果、サイドホール4A、4Bが実質的に潰れて、真円コア3が楕円状のコア13に変形していた。ただし、加熱していない部分、換言すれば加熱部位（第1部位）から離れていて加熱による熱伝導が実質的に及ばなくなる部位（第2部位）を越えた光ファイバ1A、1Bの両端面は、真円コア3とサイドホール4A、4Bがそのまま維持されている。この

ことから、マイクロトーチ9による加熱により、真円コア光ファイバ1の加熱部分とその近傍のサイドホール4A、4Bが潰れて真円コア3を楕円状コア13に変えることができることが判った。換言すれば、サイドホール4A、4Bを持つ真円コア光ファイバ1を側面から加熱することにより、楕円状コア13を持つ光ファイバに変形できる。

【0023】〔第2実験例〕第1実験例は、真円コア光ファイバ1の一部をマイクロトーチ9で加熱しただけであるが、第2実験例は、マイクロトーチ9を固定しておき、真円コア光ファイバ1を連続的にマイクロトーチ9の火炎の上を通過させた。もちろん、この逆に、真円コア光ファイバ1を延ばしておきマイクロトーチ9の火炎を長手方向に沿って移動させてもよい。要するに、マイクロトーチ9の火炎と真円コア光ファイバ1とを、光ファイバ1の長手方向に沿って、相対的に動かす。その結果、図4に図解したようなモードフィールド変換光ファイバ11が製造できた。このモードフィールド変換光ファイバ11は、一端が、真円コア3とサイドホール4A、4Bを有するクラッド2からなるもとの真円コア光ファイバ1のままであり、他端が加熱によりサイドホール4A、4Bが熱によって潰れて消滅し真円コア3が楕円状コア13に変形した光ファイバである。このモードフィールド変換光ファイバ11は、もとの真円コア光ファイバ1の状態が維持されている一端1Cから楕円状コア13が形成された他端1Dに向かって、真円コア3から楕円状コア13に連続的にコアの断面形状が変化している。つまり、モードフィールド変換光ファイバとして形成されている。このモードフィールド変換光ファイバ11は、外径 $120\mu\text{m}$ の光ファイバであり、楕円状コア13の寸法は長径 $13.4\mu\text{m}$ 、短径 $4.7\mu\text{m}$ であった。

【0024】上記実験例では、加熱処理により、楕円コア13側のサイドホール4A、4Bは完全に潰れているが、マイクロトーチ9による加熱時間を短くするとサイドホール4A、4Bを残すこともできる。またサイドホール4A、4Bの縮小の程度と真円コア3の楕円化の程度には相関関係があり、サイドホール4A、4Bの加熱による縮小の程度が小さければ、真円コア3の楕円化の程度も小さい。

【0025】〔第3実験例〕第1実験例および第2実験例はサイドホール4A、4Bの内部を減圧して、他端のサイドホール4A、4Bを潰した例を示したが、第3実験例はサイドホール4A、4Bの内部を減圧せず、他端のサイドホール4A、4Bを縮小するに止め、完全には潰さない例を示す。第1実験例に用いたと同じ断面形状の真円コア光ファイバ1の側面を、減圧せずに、加熱温度 $1800\sim 2000^{\circ}\text{C}$ の範囲の任意の温度でマイクロトーチ9で10秒間加熱した。10秒加熱後、この真円コア光ファイバ1を加熱部分で切断し、2本の光フ

ィバの断面を調べた。その結果、この光ファイバは、実質的に熱伝達が及ばなくなる部位（第2部位）が真円コア3であり、加熱部位（第1部位）が楕円コア13である。つまり、加熱部位の光ファイバ1Aの端部のサイドホール4A、4Bは縮小したが、光ファイバの外形断面は潰れずに残ったことに留意されたい。光ファイバの外形断面が変形しないことは、他の光ファイバとの接続を容易にするからである。このとき、クラッド3の直径は $123\mu\text{m}$ であり、サイドホール4A、4Bの直径は $22.7\mu\text{m}$ 、サイドホール4A、4Bの間隔は $29.1\mu\text{m}$ であった。真円形状のコアは長径 $10.6\mu\text{m}$ 、短径 $5.5\mu\text{m}$ の楕円形状であった。

【0026】以上のように、サイドホール4A、4Bの減圧を行うか否か、マイクロトーチ9の火炎によるサイドホールが形成された真円コア光ファイバ1の加熱条件などを変化させることにより、サイドホールが形成された真円コア光ファイバ1のコア3の断面形状およびサイドホール4A、4Bの断面形状を種々の変形できる。以上から、第1実施例によれば、加熱条件および減圧条件を適切に設定すれば、希望する特性、希望する断面形状のコアを持つモードフィールド変換光ファイバを製造することができる。

【0027】〔第1実施例の変形形態〕コアの材質は、上記例示に限らない。コアの材質は、酸化ゲルマニウムを含むシリカガラスが好適であるが、酸化リン、酸化チタン、酸化アルミニウムなど通常のコア成分を含むシリカガラスを用いることができる。クラッドの材質も上記例示に限定されない。クラッドの材質は、純シリカガラスが好適であるが、フッ素または酸化珪素を含むシリカガラスを用いることができる。もちろん、コアとクラッドとの間には、所定の屈折率差が守られる。サイドホール4A、4Bのそれぞれの直径と2つのサイドホール4A、4Bの間隔、サイドホール4A、4Bと真円コア3との距離も上記例示に限らず、任意に設定できる。ただし、これらの条件は、加熱処理時の真円コアの楕円化の程度を考慮して決定する。加熱手段としては、上述したマイクロトーチに限らず、小型の電気炉などの加熱手段を用いることができる。図2に示した治具も例示であり、これに限定されない。サイドホール4A、4Bを上述した条件に則して減圧できる装置であればよい。なお本発明の第1実施例においては、真円コアとクラッドとその真円コアの両側に、直径方向に対向して位置するようにクラッド中に長手方向に設けたサイドホール4A、4Bを形成したサイドホール付真円型光ファイバを用いたが、サイドホール付真円型光ファイバはこの光ファイバと相似で、寸法の大きな光ファイバ用母材を公知の方法で線引することによって製造するので、製造が特別困難ではない。

【0028】以上の実施例においては、2つのサイドホール4A、4Bを設けた真円コア光ファイバ1を例示し

たが、本発明の実施に際しては、サイドホールは必ず2つ設ける必要はない。たとえば、1つのサイドホールを持つ光ファイバに対しても加熱して、あるいは、加熱とともにサイドホールの減圧などを行うことにより、コアの断面形状を変化させることができる。勿論、サイドホールを3つ以上設けることもできる。

【0029】第1実施例の効果を述べる。以上述べたように、本発明の第1実施例による、真円コアとそれを含むクラッドと、好適には、真円コアの両側に2つのサイドホール4A、4Bを形成した真円コア光ファイバ1を、その一部を加熱して楕円化することにより、連続的に真円が楕円化され、実質的に熱伝達が及ばなくなる部位（第2部位）の断面形状が真円コアで、加熱部位（第1部位）の断面形状が楕円コアであるモードフィールド変換光ファイバが形成できた。しかもこのモードフィールド変換光ファイバは殆ど伝送損失がない。さらにサイドホール4A、4Bの内部を減圧しながら加熱すると、低い加熱温度で迅速にサイドホール4A、4Bが潰れるか、潰れないまでも縮小されるから、真円コアの楕円化が一層促進されるとともに、ドーパントの熱拡散が少なくてすみ、コア部とクラッド部との屈折率差の減少がほとんどない。本発明の第1実施例のモードフィールド変換光ファイバは、偏波保存光ファイバまたはセンサ用光ファイバと通常の光ファイバとの接続用光ファイバとして、光通信または光計測などに好適に利用できる。

【0030】〔第2実施例〕本発明の光ファイバの第2実施例として、モードフィールド変換光ファイバについて述べる。第1実施例のモードフィールド変換光ファイバにおいて、一端に潰れずに残っているサイドホール4A、4Bに光吸収性のガスまたは液体が侵入すると、光ファイバの伝送損失が多くなる可能性がある。またサイドホール4A、4Bに侵入するガスまたは液体の種類によっては光ファイバの機械的な特性が変化する可能性がある。第2実施例は上述した第1実施例のモードフィールド変換光ファイバの欠点を改善する。

【0031】図5は本発明の第2実施例のモードフィールド変換光ファイバを示す図である。このモードフィールド変換光ファイバにおいては、図4に示したモードフィールド変換光ファイバの、サイドホール4A、4Bが残っている真円コア光ファイバ1側の端部に、真円コア3と直径と材質が同じ真円コア23と、クラッド2の直径と材質が同じクラッド22を有する短い光ファイバ21を、真円コア3と真円コア23とが一致するように、真円コア光ファイバ1の端部に接続し、サイドホール4A、4Bを外気から密閉するようにしている。

【0032】真円コア光ファイバ1の端部と光ファイバ22との接続について述べる。上記接続としては好適には、密閉性が高い融着接続を行う。融着接続作業として、市販の光ファイバ融着接続機を用いることができる。融着接続の際、融着温度が高いと光ファイバの端面

が必要以上に溶融し、サイドホール4A、4Bが潰れてコア部が変形する可能性がある。したがって、ガラスが溶融可能な温度で、できるだけ低温で融着接続することが望ましい。また上記融着接続に代えて上記接続部を接着剤で接続することもできる。さらにサイドホール4A、4Bを密閉する方法としては、上記融着接続または接着剤によるモードフィールド変換光ファイバ11と短い光ファイバ21との接続に限らず、ガラス、透明プラスチックの薄板またはブロックを用いてサイドホール4A、4Bを塞ぐように被せて、光ファイバ21と接着剤で、あるいは機械的に押さえてもよい。さらに、上述した密閉方法に限らず、サイドホール4A、4Bにガラス、透明で緻密な有機物を充填させサイドホール4A、4Bを密閉させることもできる。ガラスを充填する場合、低融点ガラスを溶融状態でサイドホール4A、4Bに充填し、その後冷却して固化させる方法をとることができる。あるいは、ゾル・ゾル原料をサイドホール4A、4Bに充填し、反応固化させることもできる。有機物をサイドホール4A、4Bに充填する場合は加熱溶融したプラスチックをサイドホール4A、4Bに充填し、冷却固化させる。またサイドホール4A、4Bに熱硬化性樹脂または光硬化性樹脂を充填し、熱または光を加えて硬化させてサイドホール4A、4Bを密閉することもできる。従って、サイドホール4A、4Bの密閉は上述した端部の融着接続に限らず種々の方法をとることができる。

【0033】第2実施例の効果を述べる。光ファイバ21を真円コア光ファイバ1の端部に接続するなどの方法でサイドホール4A、4Bを密閉することにより、サイドホール4A、4Bに光吸収性のガスまたは液体が侵入することが防止されるから、光ファイバの伝送損失は変化しない。また、光ファイバ11の機械的な特性が変化することも防止できる。

【0034】〔第2実施例の変形例〕図6は図5に示したモードフィールド変換光ファイバの変形例を示す図である。図6に示したモードフィールド変換光ファイバにおいては、サイドホール4A、4Bが残っている光ファイバ11の端部11Aに、真円コア3、サイドホール4A、4B、クラッド2を有する短い真円コア光ファイバ12を、真円コア3同士を一致させて接続している。ただし、サイドホール4A、4Bを一致させないように、図示の例ではお互いのサイドホール4A、4Bを直交させるようにして、モードフィールド変換光ファイバの端部11A側のサイドホール4A、4Bが密閉されるように、モードフィールド変換光ファイバの11Aの端部に真円コア光ファイバ12を接続したものである。上記接続の詳細およびその変形例は上記第2実施例において述べたと同様種々の方法をとることができる。この第2実施例の変形例においても、モードフィールド変換光ファイバの端部11A側のサイドホール4A、4Bが密閉さ

れる。したがって、この実施例においても、上記第2実施例と同様の効果を奏することができる。なおこの変形例においては、モードフィールド変換光ファイバ11を形成する前の真円コア光ファイバ12を用いることができるので、特別の端部密閉用光ファイバを準備する必要がないという効果を奏する。

【0035】〔第3実施例〕図7は第2実施例の変形形態としての第3実施例のモードフィールド変換光ファイバを図解する図である。図7に図解したモードフィールド変換光ファイバ11は、コア3が円のままの光ファイバ1の端面11A側に図4に図解した光ファイバ21を設けたほか（または図6に図解した真円コア光ファイバ12を設けたほか）、サイドホール4A、4Bが縮小して孔4A'、4B'となっている他、コア13が楕円形状になっているモードフィールド変換光ファイバ11の他端部11Bのコア楕円化端部にも、楕円コア13と長径部と短径部とが実質的に同じで材質も同じ楕円コア26と、光ファイバ11のクラッド2の直径と材質が同じクラッド25を有する短い光ファイバ24を、楕円コア13と楕円コア26の端面とが一致するように、モードフィールド変換光ファイバ11の他端部11Bに接続したものである。この接続の詳細およびその変形例は上記第2実施例において述べたと同様種々の方法をとることができる。楕円コア13が形成された他端部11Bは適切に加熱処理してサイドホール4A、4Bの縮小化を行えばほぼ完全に潰れて、原則として、サイドホール4A、4Bは残っていないはずであるが、そこまでは加熱処理しない場合に縮小された孔4A'、4B'としてガスなどが侵入する程度の孔が残っている場合もある。また、第1実施例において述べたように、サイドホール4A、4Bを完全には潰さないで縮小した孔4A'、4B'として残すこともある。したがって、端部11B側に光ファイバ24を接続することにより、端部11B側の縮小孔4A'、4B'も密閉されるから、縮小孔4A'、4B'から光吸収性のガスまたは液体が侵入することが防止され、光ファイバの伝送損失は変化しない。また、モードフィールド変換光ファイバ11の機械的な特性が変化することも防止できる。

【0036】図7に図解したように、モードフィールド変換光ファイバ11の端部11Bの楕円コア13と同じ断面形状の楕円コア26ではなく、楕円化コア13の長径と直径が同じ円コアを有する光ファイバを、上記光ファイバ24に代えて、モードフィールド変換光ファイバ11の他端部11Bに、楕円コア13の長径と円コアの直径を一致させて、接続することもできる。この接続の詳細およびその変形例は上記第2実施例において述べたと同様種々の方法をとることができる。

【0037】第3実施例の効果を述べる。第3実施例においては、第2実施例として述べたモードフィールド変換光ファイバの効果に加えて、楕円コア13側の端部の

密閉が行われるから、一層、モードフィールド変換光ファイバの伝送損失は変化せず、機械的な特性が変化することが防止できる。

【0038】〔第4実施例〕図8は第4実施例のモードフィールド変換光ファイバを示す図である。第4実施例のモードフィールド変換光ファイバは、第2実施例として図5に示した、モードフィールド変換光ファイバに接続した真円コア光ファイバ21を、長尺の光ファイバ21Aに代えて、端部11Aに接続したものである。モードフィールド変換光ファイバ11の楕円コア側の端部と光ファイバ21Aの端部との接続は第2実施例と同様である。第4実施例の効果を述べる。第4実施例のモードフィールド変換光ファイバは、図5～図7に図解したモードフィールド変換光ファイバと比較すると、接続した光ファイバ21Aがそのまま光通信または光計測などに使用できるという利点を有している。なお、光ファイバ21Aによるサイドホール4A、4Bの密閉の基本的な効果は、第2実施例～第3実施例と同様である。

【0039】〔第5実施例〕第5実施例は光ファイバ用母材からコアの両側にサイドホールを有する光ファイバの製造について述べる。コアの両側にサイドホールを設けた光ファイバ自体は、偏波面保存用のサイドピット付光ファイバ（エレクトロニクス・レターズ誌、18巻、824-826ページ、1981年）、圧力センサ用光ファイバ（オプテックス・レターズ誌、11巻、333-335ページ、1986年）、EO効果付与光ファイバ（OFC'95講演要旨集、PD-6、1995年）などに紹介されている。このようなサイドホール付光ファイバの製造方法としては、たとえば、特開昭59-35034号公報において提案されているものが知られている。この方法は上述したように、コア部の両側にサイドホールを形成する光ファイバと相似で寸法の大きな光ファイバ用母材をそのサイドホール内のガス圧を制御しながら、加熱延伸する方法である。しかしながら、この公開公報には、光ファイバ用母材のサイドホールにガス圧をかけながら加熱延伸（線引き）を行うと、光ファイバの外周部に突起または溝が発生すると記述されている。光ファイバの外周部に突起または溝が存在することは、光ファイバの機械的な強度が低下する可能性がある上、他の光ファイバとの接続が困難になる。上記公開公報には光ファイバの外周形状については記述があるが、光ファイバのコアの形状変化についての記述はない。そこで、本件出願の発明者が、本発明のモードフィールド変換光ファイバに適用する光ファイバを意図して、コアの両側にサイドホールを有する光ファイバ用母材をサイドホールにガス圧をかけながら線引きしてみた。その結果、線引きされた光ファイバの外周形状には変化はないが、光ファイバのコアの形状が種々変化することを見出した。本発明の第5実施例はその知見に基づき、モードフィールド変換光ファイバに好適な光ファイ

バの製造に関する。以下その詳細を述べる。

【0040】〔第1実験例〕第5実施例の第1実験例を述べる。通常のVAD法で製造したクラッド／コア比＝15.6倍、コアの比屈折率差 $\Delta=0.35\%$ の外径26mmの石英ガラスのシングルモード光ファイバ用母材にドリルでサイドホールとなる部分に孔を開けて光ファイバ用母材とした。この光ファイバ用母材は図1に示した光ファイバと相似である。図9にその断面を示す。この光ファイバ用母材10のサイドホール40A、40Bの間隔SDは4mm、サイドホールの口径SRは6mm、最短距離MDは10mmである。この最短距離MDは母材外径Dの19%に相当する。

【0041】このような光ファイバ用母材を図10に示す線引き装置で線引きした。サイドホールが形成された光ファイバ用母材（プリフォーム）50を加熱部101に挿入し、上部からサイドホールに窒素ガスを導入する。窒素ガスは圧力緩衝容器102を介して加圧系管103を経由してサイドホールに加えられる。なお光ファイバ

$$\varepsilon = 1 - (a/b)$$

【0044】コアとなる部分の両側にサイドホールが形成された光ファイバ用母材を、サイドホールの内部にガス圧をかけないで、加熱炉101において加熱し、線引きすると、ガラスの表面張力によってサイドホールは潰れ、コアは楕円化する。ところが、サイドホールになる部分にガス圧をかけておくと、このガス圧によってサイドホールになる部分の縮小の程度を制御できる。その結果、コアとなる部分の形状を制御できる。サイドホールへのガス圧は外圧に対して加圧でも減圧でもよい。図11に図解したように、サイドホールへのガス圧を高くすると製造される光ファイバのコアの楕円率 ε が減少し、真円に近くなっていく。たとえば、貫通孔の内圧を0.1018(MPa)にすると、コアの断面は真円になる。普通、真円のコアを製造することが多いから、その場合は貫通孔の内圧を0.1018(MPa)にすればよい。貫通孔の内圧を常圧(約0.1013(MPa))にすると、コアの楕円率は約0.33となる。ここで得られた光ファイバの外周の楕円率は10%以下でほぼ円形であった。つまり、コアの上述したように貫通孔の内圧によってその断面形状が変化するが、貫通孔に内圧をかけても光ファイバの外形自体はほとんど変化しない。その結果、他の光ファイバとの接続に大きな影響はない。

【0045】光ファイバ用母材を線引き中に、長手方向に沿ってガス圧を徐々に変化させていけば、光ファイバの外形をほとんど変化させずに、製造される光ファイバの長手方向に沿って、コアの楕円率 ε が徐々に変化する光ファイバを製造することができる。

【0046】またサイドホールの外周と光ファイバ用母材の外周との最短距離MDに注目すると、最短距離MDを光ファイバ用母材の外径の5%以上にした光ファイバ

イバ用母材50のサイドホールには減圧系管104を介して真空ポンプ105が接続されている。これら加圧系と減圧系を調整して、光ファイバ用母材50のサイドホールの窒素圧力を制御しながら加熱炉101の加熱温度を1870°C、線引速度20m/分で外径125 μ mの光ファイバ51を線引きした。この光ファイバ51は樹脂被着部106で樹脂被覆され、紫外線硬化部107を経由して、ダンサーローラなどを経由して巻取りローラ108に巻き取られる。

【0042】図11に示したように、光ファイバ用母材50のサイドホールへのガス圧を変化させると種々のコア形状を有するサイドホールが形成された光ファイバを製造できた。図11の横軸はサイドホールにおけるガス圧を示し、縦軸はコアの楕円率を示す。なお一般的に、楕円率 ε は、短径a、長径bとすると、下記式で表される。

【0043】

$$\dots (1)$$

用母材を線引きすると、線引き時に光ファイバの外周部に突起や溝が発生せず、光ファイバの外形形状はほぼ真円を保ち、コアの形状のみが変化することが判った。この最短距離MDについては下記のように分析される。最短距離MDは、光ファイバ用母材の最小肉厚を意味している。最短距離MDが短いと、すなわち、光ファイバ用母材の肉厚が薄いと、サイドホールにガス圧をかけながら光ファイバ用母材を加熱線引きするとき、ガス圧が光ファイバ用母材の外周形状に与える影響は大きい。その結果、製造される光ファイバの外形形状に突起や溝が発生する可能性が高くなる。逆に、最短距離MDが長いと、すなわち、光ファイバ用母材の最小肉厚が厚いと、サイドホールにかけたガス圧の影響は光ファイバ用母材の外形形状より、コアの形状に大きく作用する。実験の結果、最短距離MDは光ファイバ用母材の外周の10%以上であることが好ましいことが判った。

【0047】また、図10に示した加熱炉101における光ファイバ用母材の加熱線引き温度は線引き可能な温度でできるだけ低い温度が好ましい。線引き温度が高いとサイドホールにかけたガス圧によって光ファイバ用母材の外形形状に変化が起きやすいからである。好ましい線引き温度は2000°C以下である。このような線引温度で光ファイバ用母材の線引きを行うと、光ファイバの外形形状が変化しないガス圧の範囲が広がる。換言すれば、コアの形状を種々変化させるガス圧を広く設定できる。

【0048】上記同様の光ファイバ用母材を通常の線引装置でサイドホールにガス圧を加えないで、線引温度は1870°C、線引速度は20m/分で線引きして、外径125 μ mの光ファイバを製造した。その結果、コアに相当する部分の楕円率は34%であった。なお、第1

実験例の光ファイバの外形形状の楕円率はいずれも楕円率10%以下のほぼ円形であった。比較例として、常圧において、光ファイバ用母材の外径を種々変化させて線引きした結果を、図12に示した。図12の図解から明らかなように、サイドホールは圧力が常圧で同じでも、光ファイバ用母材の外径が小さいとコアの楕円率（縦軸）が大きくなり、光ファイバ用母材の外径が大きいとコアの楕円率（縦軸）が小さくなる。なお、これらのコアの楕円率はいずれも、第1実験例におけるコアの楕円率よりも大きい。

【0049】〔第2実験例〕第5実施例の第2実験例を述べる。通常のVAD法で製造したクラッド／コア比＝15.6倍、コアの屈折率差 $\Delta=0.35\%$ の外径26mmの石英ガラスのシングルモード光ファイバ用母材に対してドリルでサイドホールとなる部分に孔を開けた。この光ファイバ用母材のサイドホール間隔は3.3mm、サイドホール口径は8mm、最短距離は2.85mmである。最短距離MDは光ファイバ用母材の外径Dの11%に相当する。このような光ファイバ用母材を図10に示す線引装置を用いて線引きした。光ファイバ用母材（プリフォーム）50を加熱部101に挿入し、その上部からサイドホールに、圧力26.7mmHgの窒素ガスをかける。加熱炉101の加熱温度を1830°C、線引速度20m/分で外径125 μ mの光ファイバ51を線引きした。その結果、サイドホール間隔が13.6 μ m、サイドホール口径が42 μ m、最短距離MDが13.7 μ m、コア径が6 μ m \times 5 μ mの楕円形状、楕円率17%の楕円コア、シングルモード光ファイバが製造できた。光ファイバの外形形状の楕円率 ϵ は1%以内であり、ほぼ円形であった。

【0050】以上述べたように、本実施例によれば、光ファイバ自体はほぼ円形の外形形状を保ち、任意の形状を持つコアを有する光ファイバを製造できる。このようにして製造した光ファイバを用いて、上述したモードフィールド変換光ファイバを製造した。その結果、より品質の高いモードフィールド変換光ファイバが製造できた。

【0051】本発明の光ファイバの製造に際しては上述した実施例に限定されない。たとえば、上述して実施例と均等または代替の方法をとることができる。さらに上述した実施例を適宜組み合わせることができる。また本発明においては、上述したように、真円コアを有する真円コア光ファイバから他端を楕円コアにした光ファイバを製造することができるほか、その逆に、楕円コアを有する光ファイバから他端が円形のコアを有する光ファイバを製造することができる。

【0052】

【発明の効果】以上述べたように、本発明の光ファイバの製造方法によれば、半導体レーザなどを光源にした場

合に好適なモードフィールド変換光ファイバを製造できる。本発明の光ファイバの製造方法によって製造された光ファイバは外形形状が均一で、伝送損失が変化しない。さらに、コアとクラッドとの屈折率サイドホールの減少が少ない。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明の第1実施例の真円コア光ファイバの断面図である。

【図2】図2は図1に示した真円コア光ファイバを加工する治具の構成図である。

【図3】図3（A）および図3（B）は本発明の第1実施例における真円コア光ファイバを加熱してコアの断面形状を変化させることを図解した図である。

【図4】図4は本発明の第1実施例において製造されたモードフィールド変換光ファイバを図解する図である。

【図5】図5は本発明の第2実施例において製造されたモードフィールド変換光ファイバを図解する図である。

【図6】図6は図5に示したモードフィールド変換光ファイバの変形例を図解する図である。

【図7】図7は本発明の第3実施例において製造されたモードフィールド変換光ファイバを図解する図である。

【図8】図8は本発明の第4実施例において製造されたモードフィールド変換光ファイバを図解する図である。

【図9】図9は本発明の第5実施例に用いる光ファイバ用母材の断面図である。

【図10】図10は図9に示した光ファイバ用母材から光ファイバを線引して製造する装置の構成図である。

【図11】図11は図11の装置で製造された光ファイバの貫通孔の内圧とコアの楕円率との関係を示したグラフである。

【図12】図12は光ファイバ用母材の外径と線引されて光ファイバのコアの楕円率との関係を示すグラフである。

【図13】図13（A）～図13（C）は従来のスポットサイズ変換光ファイバを製造する方法を示す図である。

【符号の説明】

- 1・・・真円コア光ファイバ
- 2・・・クラッド
- 3・・・真円コア
- 4A, 4B・・・サイドホール（貫通孔）
- 5・・・ゴム栓
- 6・・・ゴム管
- 7・・・接続部
- 8・・・中空部
- 9・・・マイクロトーチ
- 11・・・モードフィールド変換光ファイバ
- 13・・・楕円状コア